

# **Descripción ontogénica de la impronta de la arteria meníngea media. Una nueva metodología.**

Eduardo Sevillano de la Puente

**TRABAJO DE FIN DE MÁSTER**

Septiembre 2013

Dirigido por:

Dr. Manuel Domínguez Rodrigo

Co-dirigido por:

Dr. Armando González Martín



Universidad  
de Alcalá



**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE**

**UAM**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE MADRID

<b>ÍNDICE</b>	<b>2</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>3</b>
<b>PALABRAS CLAVE</b>	<b>3</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>3</b>
<b>KEYWORDS</b>	<b>4</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>4</b>
– Descripción del hueso parietal y del sistema vascular meníngeo	4
– Estudios recientes sobre la arteria meníngea media y su impronta	11
– Hipótesis	12
– Objetivos del Trabajo	12
<b>MATERIAL Y MÉTODOS</b>	<b>12</b>
– Técnica de medición	13
– Tratamiento matemático	14
– Análisis informático	16
<b>RESULTADOS</b>	<b>16</b>
<b>DISCUSIÓN</b>	<b>25</b>
– Diferentes patrones con respecto a la edad	25
– Localización de los puntos diagnóstico	26
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>28</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>29</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>30</b>
– Anexo 1	30
– Anexo 2	31
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>32</b>

## RESUMEN

El origen de este estudio se encuentra en la falta de conocimiento de la arteria meníngea media y la impronta que esta deja en el endocráneo. En concreto, trata de explicar cómo se refleja la ontogenia humana a través de ella.

Para obtener las conclusiones del estudio se han llevado a cabo los siguientes trabajos de laboratorio e informáticos. En primer lugar se ha desarrollado una metodología de trilateración basada en SIG y se han tomado medidas para obtener los patrones de distribución de los inicios, divergencias y terminaciones de la impronta de la arteria meníngea media. Se han realizado también estudios estadísticos que permitan asociar un determinado patrón a un rango de edad preestablecido, desarrollando un modelo matemático. Por último, se han observado y descrito patrones anastomóticos en la impronta de la arteria meníngea media.

Mediante esta metodología se ha conseguido aportar nuevos conocimientos al estudio de la arteria meníngea media desarrollando un sistema que permite asignar un individuo a un rango de edad atendiendo a la distribución relativa de los puntos diagnóstico empleados.

## PALABRAS CLAVE

*Arteria meníngea media, ontogenia, SIG, anastomosis.*

## ABSTRACT

The origin of this study is the lack of knowledge of the middle meningeal artery vessels and the traces left on the endocranial surface. In particular, attempt to explain how human ontogeny is reflected through it.

In order to obtain the conclusions of this study, were realized the following laboratory and informatics works. First has developed for GIS-based trilateration and have taken measures to obtain the distribution patterns of the beginnings, divergences and endings of the middle meningeal artery traces. There have also been statistical studies to associate a pattern to an age range, developing a mathematical model. Finally, we have observed and described

anastomotic patterns in the traces of the middle meningeal artery.

This methodology has been successful to provide new insights to the study of the middle meningeal artery developing a system that allows to assign an individual age range considering the relative distribution of diagnostic points used.

## **KEYWORDS**

*Middle meningeal artery, ontogeny, GIS, anastomosis*

## **INTRODUCCIÓN**

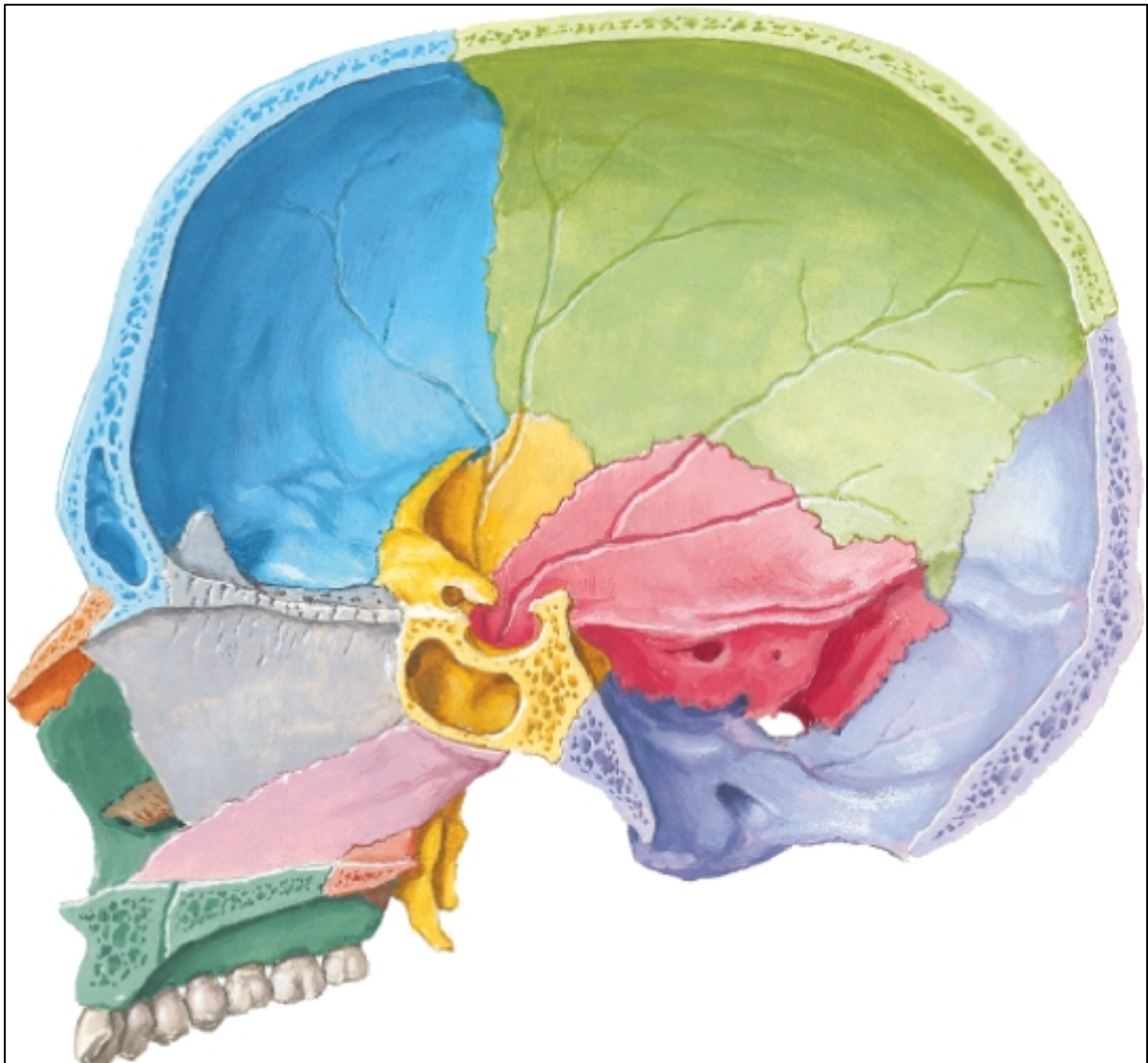
En el estudio de la evolución humana, el cráneo es uno de los elementos que mayor importancia refiere. Sus características diferenciales con el resto de especies de mamíferos y de primates hacen que sea único y, por ello, el objeto principal de una gran cantidad de investigaciones enfocadas al conocimiento de la evolución humana. Además de la filogenia, en el cráneo también se encuentra representada la ontogenia, lo cual suma importancia al cráneo como centro de interés. Estos estudios craneales se han ido llevando a cabo desde los primeros pasos de la Antropología, abordándose desde diferentes ramas de la ciencia, como la anatomía, la histología o la fisiología entre otras. La variedad de encuadres del estudio del cráneo han ido conformando un elevado conocimiento sobre las características evolutivas y actuales del cráneo humano, aunque no sin generar puntos de confrontación entre algunas de las hipótesis propuestas.

Este trabajo consiste en el estudio de la arteria meníngea media (AMM), reflejada *post mortem* en una impronta endocraneal, con el fin de obtener diferencias en su patrón de desarrollo ontogénico a partir de rangos de edad preestablecidos.

## **Descripción del hueso parietal y del sistema vascular meníngeo**

Recurriendo a la bibliografía clásica, encontramos descripciones minuciosas y rigurosas del hueso parietal que pueden ser empleadas como un punto de origen idóneo para el

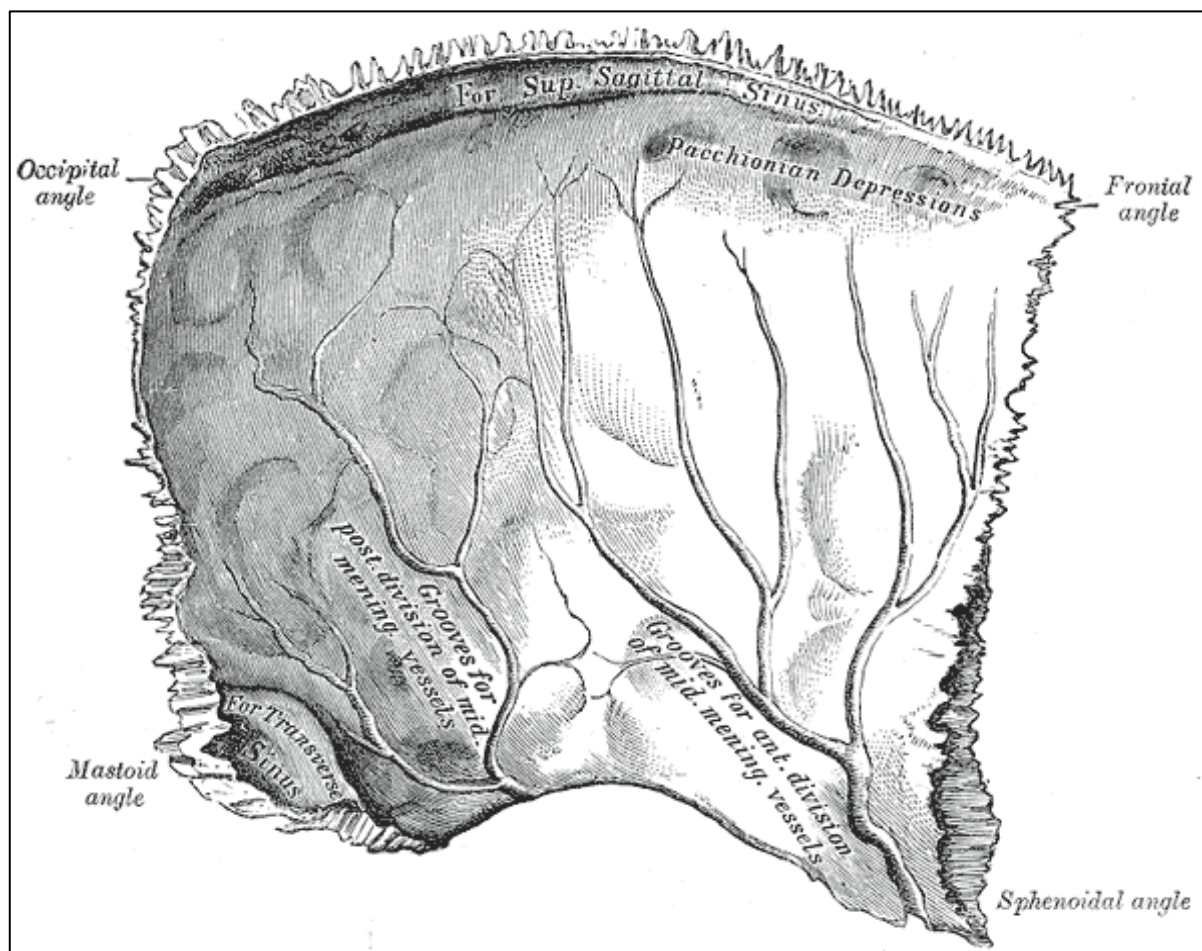
conocimiento de su morfología con el fin de desarrollar una metodología específica para este estudio.



**Figura 1. Hemicraneo derecho. Vista endocraneal (Reproducido de Netter, 1985)**

El hueso parietal es un hueso cóncavo -visto desde su superficie interna- cuyo punto de máxima curvatura recibe el nombre de eminencia parietal (*Tuber parietale*), punto en el que se encuentra el centro de osificación. En esta superficie interna se localizan irregularidades que corresponden a las circunvoluciones encefálicas. Estas son los *gyrus* -depresiones- y *sulcus* -crestas- que corresponden con las improntas que dejan, respectivamente, las circunvoluciones y las fosas lobulares del cerebro. Además, se encuentran numerosos canales

ramificados que corresponden con los vasos de la AMM (Fig. 2). Estos canales discurren desde el ángulo esfenoidal hacia las regiones anterior y media de la sutura sagital, donde se encuentra el *sulcus sagittal*, y de las regiones media y posterior de la sutura temporo-parietal hacia la región posterior de la sutura sagital y la sutura lambdática (Gray, 1918).



**Figura 2. Vista interna del parietal izquierdo. (Reproducido de Gray, 1918)**

Además de descripciones del hueso, se encuentran referencias numerosas a la arteria meníngea media y a su disposición. Le Double (1903) describe esta impronta y clasifica las ramas desde su origen en el parietal a la región craneal que riega. En primer lugar describe una primera división en una rama anterior y una rama posterior, y que, respectivamente, corresponden con las anteriormente descritas, una surgiendo del ángulo esfenoidal y otra desde la sutura temporo-parietal. A su vez, la rama anterior la subdivide en una rama suborbitaria anterior, una rama frontal superior y otra rama parietal anterior y la rama



posterior en las ramas parietales posteriores y la rama occipital. También clasificó los patrones de distribución de la arteria meníngea media en tres según el número de ramas existentes, habiendo siempre una única rama con origen en el ángulo esfenoidal y pudiendo haber una, dos o tres en el borde inferior del parietal.

Posteriormente, Giuffrida-Ruggieri (1913) estudio la arteria meníngea media desarrollando un sistema diferente de clasificación de las ramas, pasando a describirse de dos a tres principales con respecto a la propuesta de Le Double: rama anterior o bregmática, rama media u obélica y rama posterior o lambdática. Basado en esta nueva descripción realizó también una clasificación de los modelos de la arteria meníngea media clasificándose también en tres patrones característicos pero con características definitorias diferentes. Esta descripción y metodología fue empleada posteriormente por Adachi (1925) aumentando el número de modelos descritos. Este sistema de clasificación iniciado por Giuffrida-Ruggieri, y revisado por Adachi, se basa en el origen de la divergencia principal, que definen como la divergencia entre la rama anterior y la rama posterior, y la divergencia secundaria, como el origen de la rama media desde una de aquellas dos ramas. También tiene en cuenta el hueso en el que ambas se localizan. De este modo Adachi describe cinco posibles modelos sobre los tres originales de Giuffrida-Ruggieri (Fig. 3).

- 1. Divergencia primaria en el esfenoides y divergencia secundaria en el parietal desde la rama anterior.
- 2a. Divergencia primaria en el esfenoides y divergencia secundaria en el parietal desde la rama anterior.
- 2b. Divergencia primaria en el temporal y divergencia secundaria en el temporal desde la rama posterior.
- 3. Divergencia primaria en el temporal y divergencia secundaria desde la rama anterior.
- 4. Divergencia primaria en el temporal y dos divergencias secundarias en el parietal, una de la rama anterior y otra de la rama posterior.

## Types of Middle Meningeal Artery

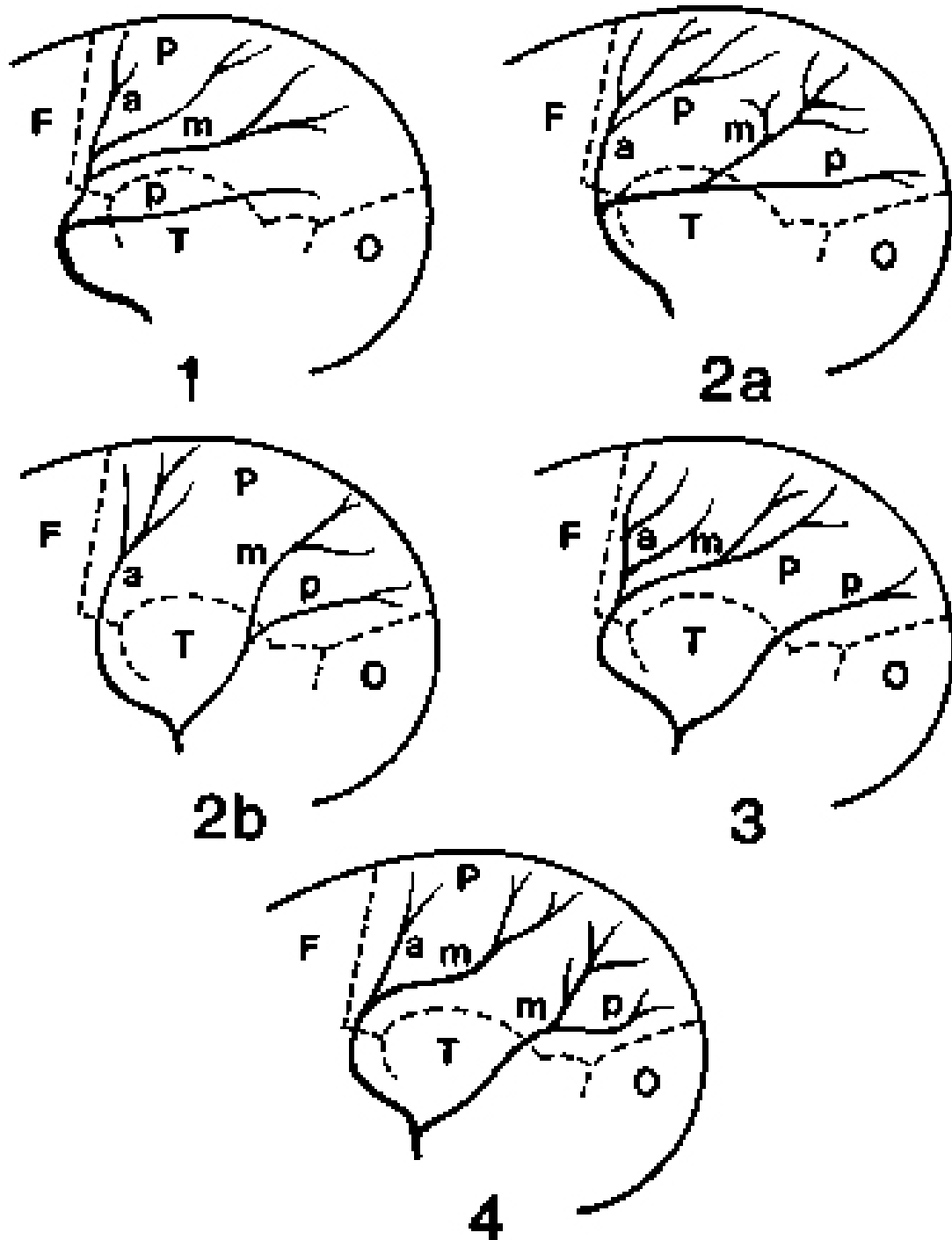
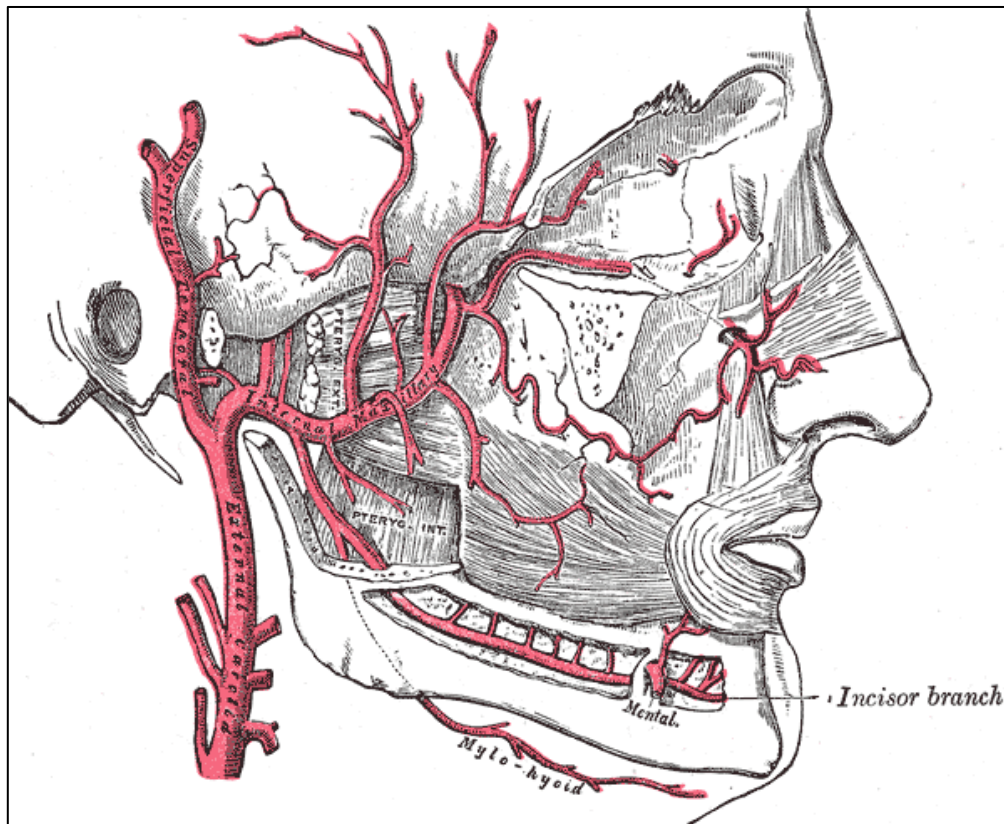


Figura 3. Modelos de arteria menígea media. (Reproducido de Adachi, 1925)



Para entender mejor la distribución de la impronta de la AMM, es necesario conocer su distribución *in vivo* (Fig. 4), es decir, describirla desde un enfoque angiológico.



**Figura 4. Origen angiológico de la arteria meníngea media (Reproducido de Gray, 1918)**

Las arterias meníngeas son el conjunto de ramas arteriales que discurren entre la duramadre y el hueso y que irrigan a ambos elementos anatómicos. Las arterias meníngeas son tres: anterior, media y posterior. La rama anterior irriga una pequeña región junto a la *crista galli* y la rama posterior una pequeña zona del occipital, mientras que la rama media de la arteria meníngea es la rama que irriga una mayor superficie en las regiones del frontal, el temporal, el parietal y el occipital. Estas tres ramas, a pesar de irrigar regiones contiguas, presentan un origen diferente. El origen de la AMM se encuentra en el segmento retromandibular -segmento proximal- de la arteria maxilar, procedente de la arteria carótida externa. De dicho segmento surgen cuatro ramas que irrigan el cráneo en el temporal: la arteria auricular profunda, la arteria timpánica anterior, la arteria alveolar inferior y la arteria meníngea media. La AMM discurre a través del agujero redondo menor del temporal a la fosa craneal media, entre la duramadre y el hueso, donde tiene lugar una primera divergencia de la

rama petrosa hacia esta región del temporal y, posteriormente, otra divergencia donde surge la arteria timpánica superior. En este punto, la arteria meníngea media sufre la divergencia que ya Giuffrida-Ruggieri y Adachi describieron como "*divergencia principal*" entre la rama anterior y la rama posterior de la AMM (Frick, 1981).



**Figura 5. Ejemplo de Anastomosis. Destacada en rojo la impronta de la arteria meníngea media.**

La única descripción de anastomosis en la AMM corresponde con la conexión entre esta y la arteria oftálmica (Frick, 1981). No obstante, en el estudio descriptivo de las improntas de la arteria meníngea media, se presentan anastomosis (Fig. 5), comprobadas a nivel óseo pero no confrontadas con un estudio angiológico. En el estudio serán descritas como anastomosis y se estudiará su distribución.

### **Estudios recientes sobre la arteria meníngea media y su impronta**

Los estudios realizados sobre la AMM en las últimas décadas tienen como enfoque, en contraposición a los descriptivos expuestos en el apartado anterior, verter información sobre las implicaciones funcionales que tiene más allá de riego sanguíneo de las meninges y el hueso, integrando esta perspectiva en el contexto de la evolución humana. Este es el ejemplo de la denominada "hipótesis del radiador" propuesta por Falk (1990), en la que la arteria meníngea media juega un papel clave en la termorregulación de un cráneo que recibe una mayor insolación a causa del bipedalismo y que aumenta su volumen como consecuencia del mayor desarrollo del cerebro. Al hacerse más complejo el entramado vascular del cerebro y de las meninges, el cerebro es capaz de refrigerarse de una manera más eficiente permitiendo la vida en un ecosistema de altas temperaturas como es el caso de la sabana africana. . No obstante, el pensamiento actual sobre la arteria meníngea media es, según Bruner y Sherkat (2008), bastante concluyente:

*Actualmente, a principios del s.XXI, sólo sabemos una cosa con certeza con respecto a la arteria meníngea media: su morfogénesis, funciones, variabilidad y evolución se ignoran.*

No obstante, la AMM y sus implicaciones biológicas en la evolución humana son temas recurrentes en la investigación, en muchos casos relacionada con la *hipótesis de radiador* anteriormente expuesta. E. Bruner estudió los posibles patrones de disipación del calor en el cráneo humano empleando técnicas clínicas, no restos fósiles, obteniendo como resultado que no existe una relación entre el sistema vascular encefálico y el sistema vascular meníngeo, además de comprobar que en estos individuos adultos a los que se le practicó una angiotomografía, no se presentaba flujo sanguíneo en los segmentos medio y superior de la AMM, concluyendo, por tanto, que no debería haber una relación directa entre el entramado

vascular meníngeo y la termorregulación (Bruner, 2011)

## **Hipótesis**

La hipótesis de partida del estudio es que existe una diferencia ontogénica en las improntas de la AMM en el parietal humano y que, mediante una metodología sencilla, es posible asignar un rango de edad a un patrón de desarrollo de la arteria meníngea media.

## **Objetivos del trabajo**

El trabajo tiene como fin arrojar luz hacia la falta de conocimiento que existe sobre la AMM y las improntas que deja en el endocráneo humano con el fin de encontrar diferencias definitorias entre los patrones de las improntas de la AMM entre adultos y subadultos. Este objetivo se alcanza mediante el diseño de una metodología basada en GIS, aplicado a las características propias del parietal humano. Así mismo, también pretende dar pie a la profundización de los estudios de la arteria meníngea media, su impronta y la estructuras anastomóticas que aparecen representadas.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

Para la realización de la toma de datos se han empleado restos de individuos adultos y subadultos procedentes de la Maqbara de San Nicolás (Murcia, s. XI-XIII) que se encuentran en el Laboratorio de Poblaciones del Pasado en la Universidad Autónoma de Madrid. La colección la componen restos de entre 500 y 600 individuos subadultos, divididos en perinatales, infantiles y juveniles, y entre 500 y 600 adultos. De los individuos subadultos se conserva el cráneo completo, incompleto o fragmentado de 267 individuos (González, 1999). La metodología desarrollada para este estudio, que posteriormente será explicada con mayor detalle, requiere, para una correcta medición, de una elevada preservación. El parietal debe encontrarse completo y la superficie endocraneal no debe haber sufrido pérdidas tafonómicas que alteren los relieves de las improntas de la AMM. Es por esto que de los cráneos disponibles, ante los requerimientos de alta preservación necesarios para acometer el estudio,

sólo han podido estudiarse 11 parietales de un total de 10 individuos, 4 infantiles y 6 juveniles. En el caso de los adultos, por no disponer de suficiente tiempo, se han empleado dos parietales de dos individuos. Las edades de los individuos empleados en el estudio son variadas en cada rango de subadultos, como se detalla en el Anexo 1.

## **Técnica de medida**

En la bibliografía sobre la AMM encontramos un único trabajo en el que se emplea un sistema de medida de la impronta de la arteria meníngea media basada en la dimensión fractal (Bruner, 2005), lo cual supone un avanzado conocimiento de la matemática de fractales y un software para llevar a cabo su análisis. El objetivo de este estudio es también diseñar un sistema de medición sencillo, preciso y fiable, de modo que se propone una metodología que permita abordar estos estudios y ofrezca unos resultados que ayuden en la resolución de problemas anatómicos aplicados en la filogenia y la paleopatología, entre otros.

La toma de datos se basó, en primer lugar, en la definición de aquellos puntos que se consideraron claves en la descripción de la impronta de la AMM en el parietal. Estos puntos sería los puntos de inserción de la arteria meníngea media en el parietal, cada una de las bifurcaciones y las terminaciones de la impronta, describiendo el modelo mediante un dibujo y tomando nota de las medidas referentes a cada punto (Anexo 2).

Como anteriormente se comentó en el apartado "*objetivos del trabajo*", la metodología se basa en SIG. Los SIG (*Sistema de Información Geográfica*) son un conjunto de procedimientos muy utilizados en Geología, Geografía o Ciencias Ambientales y que se basan en el fundamento matemático de la trilateración. La trilateración es un método matemático que, empleando la geometría de los triángulos y las esferas, define la posición relativa de un punto con respecto, al menos, a otros tres puntos de ubicación conocida (Smith, 2006). Además de las distancias entre los puntos ubicados y los puntos relativos, se tomaron también las medidas Bregma-Lambda, Bregma-Asterion y Lambda-Asterion, necesarias para el estudio matemático de trilateración. Los puntos de ubicación desconocida cuya posición relativa queremos conocer serán los anteriormente descritos. Para definir los puntos de ubicación conocida se propusieron en un primer momento los cuatro puntos craneométricos que definen los ángulos del parietal: bregma, lambda, asterion y pterion, del cual se rechazó



pterion por su baja preservación. Para la conversión de las distancias en puntos cartesianos (X, Y, Z) se tomaron los tres puntos como en el mismo eje Z (X, Y, 0), el punto bregma como punto origen (0, 0, 0), el punto lambda sobre el eje X como (X, 0, 0) y el punto asterion como (X, Y, 0). Para la medición se empleó un compas de puntas y una regla milimétrica para obtener una precisión de  $\pm 1\text{mm}$ .

### Tratamiento matemático

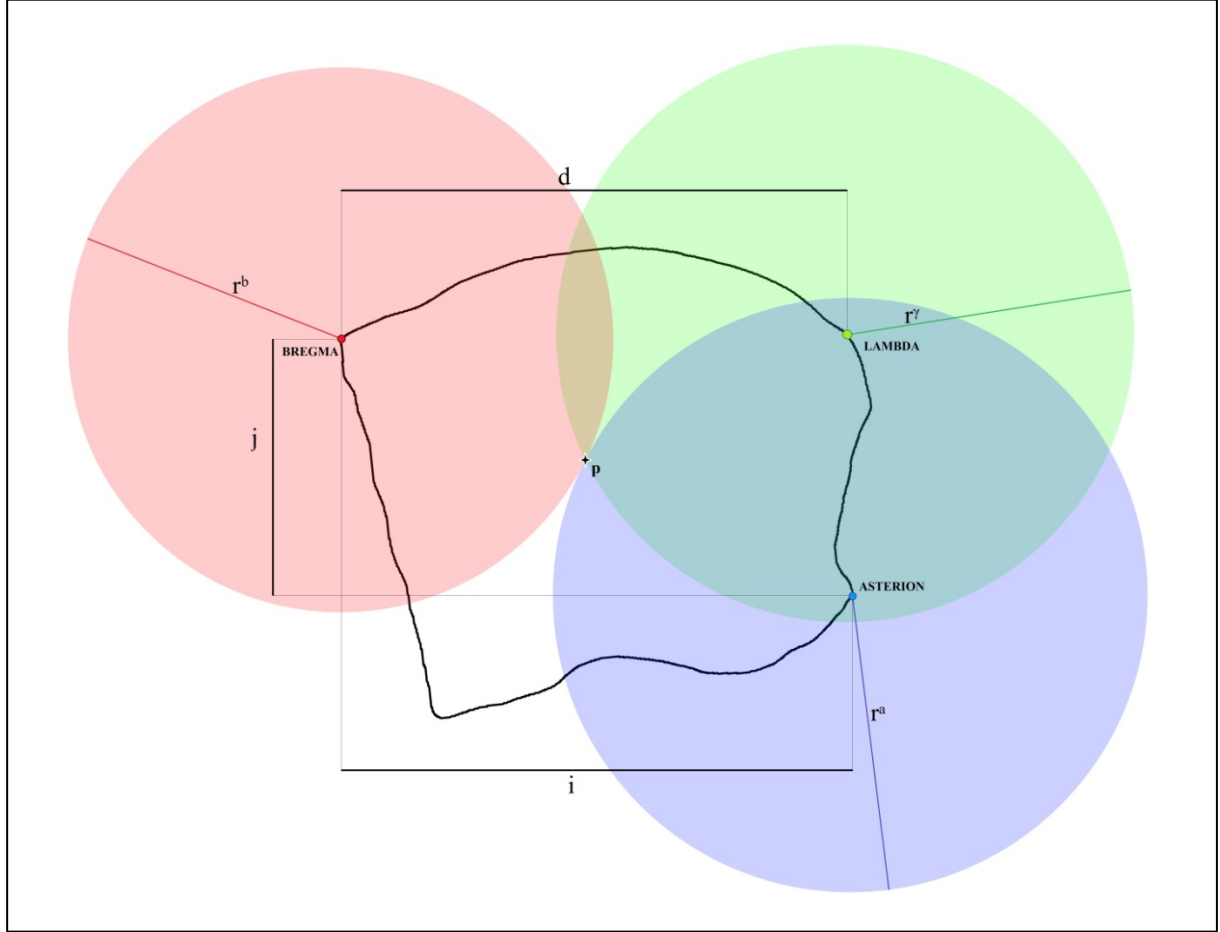
Para la obtención de las coordenadas a partir de las mediciones es necesario el tratamiento matemático. Para ello, cada distancia de un punto desconocido a los tres puntos ubicados debe ser tomada como el radio de una circunferencia, de modo que cada punto tiene tres medidas denominadas  $r^b$ ,  $r^\lambda$  y  $r^a$ , siendo radio a la esfera con centro en bregma, lambda y asterion respectivamente. Asimismo, es necesario conocer las distancias "d" -distancia en el eje X entre bregma y lambda-, "i" -distancia entre bregma y asterion en el eje X- y "j" -distancia entre bregma y asterion en el eje Y-. Estas distancias necesitan también un tratamiento matemático ya no que se toman estas distancias sino las distancias directas entre cada punto (Fig. 6).

- La distancia "d" corresponde a la medición Bregma-Lambda (BL) ya que ambos puntos se encuentran sobre el eje X.
- La distancia "i" se obtiene por trilateración a partir de las medidas Bregma-Asterion (BA) y Lambda-Asterion ( $\lambda A$ ) mediante la siguiente fórmula.

$$i = \frac{BA^2 - \lambda A^2 + d^2}{2d}$$

- La distancia "j" se halla mediante el Teorema de Pitágoras a partir de la distancia Lambda-Asterion ( $\lambda A$ ), Bregma-Lambda ( $B\lambda$ ) y la distancia "i".

$$j = \sqrt{\lambda A^2 - (i - B\lambda)^2}$$



**Figura 6. Esquema de las medidas tomadas sobre un parietal para el tratamiento por trilateración.**

La obtención de las coordenadas (X, Y) de los puntos a ubicar se basó en la característica de estos puntos de ser el punto de tangencia entre las esferas con centros en bregma, lambda y asterion, de modo que el fundamento matemático se basa en igualar en un sistema las fórmulas del perímetro de cada una de las esferas. Las fórmulas resultantes son:

$$x = \frac{r^{b2} - r^{\lambda 2} + d^2}{2d}$$



$$y = \frac{r^{b2} - r^{a2} + i^2 + j^2}{2j} - \frac{i}{j}x$$

De este modo, cada punto desconocido tendrá unos valores de coordenadas X e Y y esto permite localizar los puntos en un plano. Tras esto, el cráneo fue dividido en 9 cuadrantes a partir de la división de los ejes X e Y en tres segmentos. En estos 9 cuadrantes se contabilizaron el número de puntos medidos para posteriormente obtener la proporción de puntos en cada cuadrante con respecto al total de datos tomados en el parietal y poder comparar así las frecuencias en cada cuadrante entre individuos y rangos de edad.

### **Análisis informático**

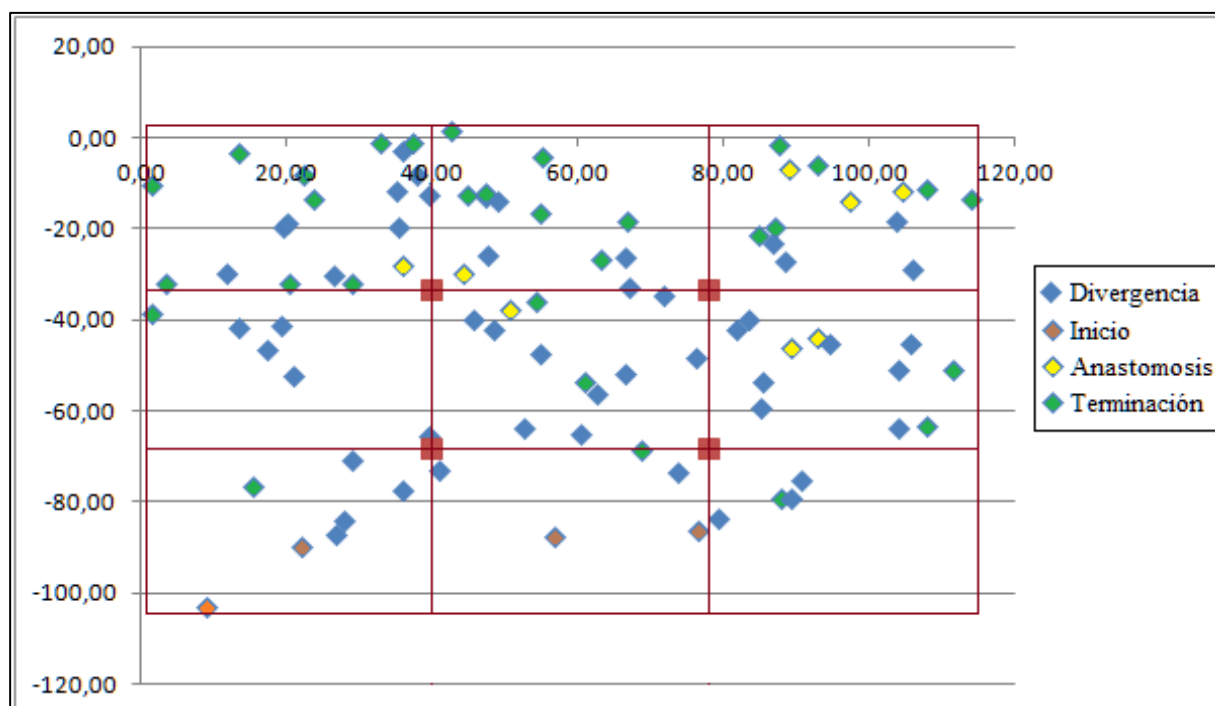
Fueron empleados dos programas informáticos para tratar los datos:

- Microsoft Excel 2007 para la elaboración de la tabla de datos y la obtención de las coordenadas a partir de las distancias. También ha sido empleado para obtener la proporción relativa de puntos de anastomosis en cada cuadrante y la proporción de cada categoría de punto - inicio, divergencia, terminación- en cada cuadrante.
- IBM SPSS Statistics 20 para el análisis estadístico de los datos.

Para obtener los cuadrantes de máxima diferencia entre rangos se utilizó una ANOVA y posteriormente un test de Bonferroni con el fin de analizar los cuadrantes de máxima diferencia entre los grupos por pares. Para obtener un sistema de clasificación de los individuos en función de la frecuencia relativa de puntos, se realizó un análisis discriminante.

## **RESULTADOS**

Antes de realizar estudios estadísticos, se realizó un clasificación por cuadrantes en los que se analizaba el número de puntos diagnóstico tomados categorizándolos según sean inicio de la rama, divergencia, anastomosis o terminación (Fig. 7).



**Figura 7. Cuadro con puntos categorizados (M16-304,00)**

Tras haberse empleado este procedimiento para cada individuo, se obtuvieron las medias de las frecuencias de puntos diagnóstico totales y relativos a cada categoría -inicio, divergencia, anastomosis y terminación- por grupo de edad para así observar qué diferencias existían en la frecuencia entre los diferentes rangos de edad (Tab.1). Observando los datos ofrecidos en esta tabla, se advierte cómo las frecuencias del conjunto de puntos diagnóstico, puntos totales, varían en cada cuadrante para cada rango de edad. Además, esta variación no parece seguir un patrón. Cuando estudiamos el número total de puntos sí se encuentra un patrón de aumento. El promedio de puntos totales diagnóstico es de 49 en los infantiles, 60 en los juveniles y 91 en los adultos estudiados. Este aumento de puntos diagnóstico en el parietal sin mantener la constante de proporción por cuadrantes, permite llegar a la conclusión de que existe un desarrollo diferencial de la arteria meníngea media de modo que aquellos cuadrantes que aumentan su proporción de puntos lo hacen debido a que existe un desarrollo por encima de la media de los 9 cuadrantes, mientras que aquel en el que la proporción descende el desarrollo del entramado arterial es menor a dicha media. A partir de los datos obtenidos a través de la elaboración de esta tabla, se infirieron las características que serían tratadas mediante estudios estadísticos.

	Rango de Edad	fr (Pt Total)	fr (Pt Inicio)	fr (Pt Divergencia)	fr (Anastomosis)	fr (Pt Final)
Superior Anterior	Infantil	0,185	0	0,046	0	0,138
	Juvenil	0,159	0	0,046	0,034	0,078
	Adulto	0,104	0	0,037	0,012	0,055
Superior Medio	Infantil	0,103	0	0,051	0	0,051
	Juvenil	0,156	0	0,039	0,056	0,061
	Adulto	0,16	0	0,025	0,086	0,049
Superior Posterior	Infantil	0,072	0	0,021	0	0,051
	Juvenil	0,115	0	0,042	0,027	0,046
	Adulto	0,092	0	0,025	0,018	0,049
Medio Anterior	Infantil	0,179	0	0,097	0	0,082
	Juvenil	0,095	0	0,037	0,034	0,024
	Adulto	0,166	0	0,067	0,055	0,043
Medio Medio	Infantil	0,082	0	0,051	0	0,031
	Juvenil	0,139	0	0,054	0,051	0,034
	Adulto	0,19	0	0,061	0,098	0,031
Medio Posterior	Infantil	0,097	0	0,062	0	0,036
	Juvenil	0,12	0	0,046	0,015	0,059
	Adulto	0,074	0	0,018	0,018	0,037
Inferior Anterior	Infantil	0,138	0,026	0,082	0	0,031
	Juvenil	0,086	0,022	0,046	0	0,017
	Adulto	0,11	0,012	0,061	0	0,037
Inferior Medio	Infantil	0,072	0,01	0,041	0	0,021
	Juvenil	0,083	0,017	0,034	0,012	0,02
	Adulto	0,049	0,006	0,018	0,018	0,006
Inferior Posterior	Infantil	0,072	0,015	0,036	0	0,021
	Juvenil	0,046	0,017	0,015	0,007	0,007
	Adulto	0,055	0,012	0,025	0,012	0,006

**Tabla 1. Frecuencias de puntos diagnóstico**

Para estudiar cómo se comporta este hecho de manera estadística, se realizó un ANOVA obteniendo los siguientes resultados (Tab. 2). Mediante este estadístico se analizaron las frecuencias individualizadas, no promedio como se muestran en la Tabla 1. Ofrece resultados de diferencias significativas para 3 regiones, la región superior-media, la media-media y la inferior-media. Estos son los cuadrantes en los que la frecuencia de puntos diagnóstico totales difiere entre rangos de edad.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
SupAnt	Inter-grupos	0,003	2	0,002	0,844	0,459
	Intra-grupos	0,02	10	0,002		
	Total	0,024	12			
SupMed	Inter-grupos	0,012	2	0,006	4,25	0,046
	Intra-grupos	0,014	10	0,001		
	Total	0,026	12			
SupPos	Inter-grupos	0,002	2	0,001	0,627	0,554
	Intra-grupos	0,015	10	0,001		
	Total	0,016	12			
MedAnt	Inter-grupos	0,001	2	0	0,073	0,93
	Intra-grupos	0,045	10	0,004		
	Total	0,045	12			
MedMed	Inter-grupos	0,014	2	0,007	6,143	0,018
	Intra-grupos	0,012	10	0,001		
	Total	0,026	12			
MedPos	Inter-grupos	0,001	2	0,001	0,607	0,564
	Intra-grupos	0,011	10	0,001		
	Total	0,013	12			
InfAnt	Inter-grupos	0,015	2	0,007	7,546	0,01
	Intra-grupos	0,01	10	0,001		
	Total	0,024	12			
InfMed	Inter-grupos	0,002	2	0,001	0,452	0,648
	Intra-grupos	0,027	10	0,003		
	Total	0,03	12			
InfPos	Inter-grupos	0,002	2	0,001	1,256	0,326
	Intra-grupos	0,008	10	0,001		
	Total	0,011	12			

**Tabla 2. ANOVA de las frecuencias de puntos diagnóstico totales por cuadrante. En amarillo se resaltan los valores significativos.**

Para obtener entre qué rangos de edad existen diferencias significativas se realizó un

análisis por pares mediante la corrección de Bonferroni. Este análisis permite comparar los 3 rangos de edad entre sí por parejas, de modo que ofrece información sobre qué grupos son los que aportan mayor diferencia a la anteriormente comprobada mediante el ANOVA.

Variable dependiente	(I) Edad	(J) Edad	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
SupMed	1	2	-0,05341883	0,0235137	0,139	-0,120905	0,0140672
		3	-0,08668983	0,03248885	0,071	-0,179935	0,0065555
		1	0,05341883	0,0235137	0,139	-0,014067	0,1209049
		2	-0,033271	0,03007883	0,884	-0,119599	0,0530574
		1	0,08668983	0,03248885	0,071	-0,006556	0,1799352
	3	2	0,033271	0,03007883	0,884	-0,053057	0,1195994
		2	-0,06044757	0,02139765	0,054	-0,12186	0,0009652
		1	-0,09291456	0,0295651	0,031	-0,177769	-0,008061
		1	0,06044757	0,02139765	0,054	-0,000965	0,1218604
		2	-0,03246699	0,02737197	0,789	-0,111027	0,0460925
MedMed	1	1	0,09291456	0,0295651	0,031	0,0080606	0,1777686
		3	0,03246699	0,02737197	0,789	-0,046093	0,1110265
		2	0,07569305	0,019486	0,009	0,0197668	0,1316193
		1	0,04691479	0,02692377	0,336	-0,030358	0,124188
		1	-0,07569305	0,019486	0,009	-0,131619	-0,019767
	2	3	-0,02877827	0,02492657	0,825	-0,100319	0,0427628
		1	-0,04691479	0,02692377	0,336	-0,124188	0,0303584
		3	0,02877827	0,02492657	0,825	-0,042763	0,1003193
		2	0,02877827	0,02492657	0,825	-0,042763	0,1003193
		1	0,02877827	0,02492657	0,825	-0,042763	0,1003193
InfAnt	3	2	0,02877827	0,02492657	0,825	-0,042763	0,1003193
		2	0,02877827	0,02492657	0,825	-0,042763	0,1003193

Tabla 3. Corrección de Bonferroni. Se han omitido los datos para aquellos cuadrantes en los que el ANOVA no daba diferencias estadísticamente significativas. En amarillo se resaltan los valores significativos. 1=Infantiles, 2=Juveniles, 3=Adultos

Las diferencias significativas entre grupos se encuentran entre el rango de infantiles y adultos en el cuadrante medio-medio, donde el valor para los infantiles es bajo (0,082) en comparación con los adultos, en donde casi el 20% de los puntos diagnóstico totales se encuentran en este cuadrante. En el caso del cuadrante inferior-anterior, la diferencia se encuentra entre los infantiles y los juveniles. En este caso, los juveniles presentan una frecuencia menor que en el caso de los infantiles, de modo que el desarrollo de la arteria meníngea media no varía, o aumenta por debajo de la media, entre ambos rangos. Cabe destacar también que entre los infantiles y los adultos en el cuadrante superior-medio y los infantiles y juveniles en el segmento medio-medio el grado de significancia es bajo aunque no estadísticamente significativo.

Obtenidos estos rasgos que permiten categorizar qué cuadrantes difieren entre grupos, se realizó un análisis discriminantes con el fin de desarrollar una fórmula que permita determinar la pertenencia a un rango de edad a partir de las frecuencias de puntos diagnóstico totales (Tab. 4).

	Función	
	1	2
SupAnt	41,149	14,969
SupMed	30,435	38,805
SupPos	-66,864	32,421
MedAnt	-26,034	31,325
MedMed	44,222	35,414
MedPos	40,244	7,643
InfAnt	-81,522	56,728
InfMed	32,529	23,132
(Constante)	-5,125	-28,066

**Tabla 4 . Función discriminante**

Dando lugar a la siguiente función que ubica un patrón de arteria meníngea media en un eje cartesiano:

$$X = fr(SupAnt)41,149 + fr(SupMed)30,435 - fr(SupPos)66,864 - fr(MedAnt)26,034 \\ + fr(MedMed)44,222 + fr(MedPos)40,244 - fr(InfAnt)81,522 \\ + fr(InfPos)32,529 - 5,125$$

$$Y = fr(SupAnt)14,969 + fr(SupMed)38,805 + fr(SupPos)32,421 + fr(MedAnt)31,325 \\ + fr(MedMed)35,414 + fr(MedPos)7,643 + fr(InfAnt)56,728 \\ + fr(InfPos)23,132 - 28.066$$

El siguiente gráfico (Gráf. 1) ha sido obtenido a partir de un análisis de funciones discriminantes canónicas y nos muestra cómo se distribuye cada rango de edad en base a las dos funciones anteriormente expuestas.

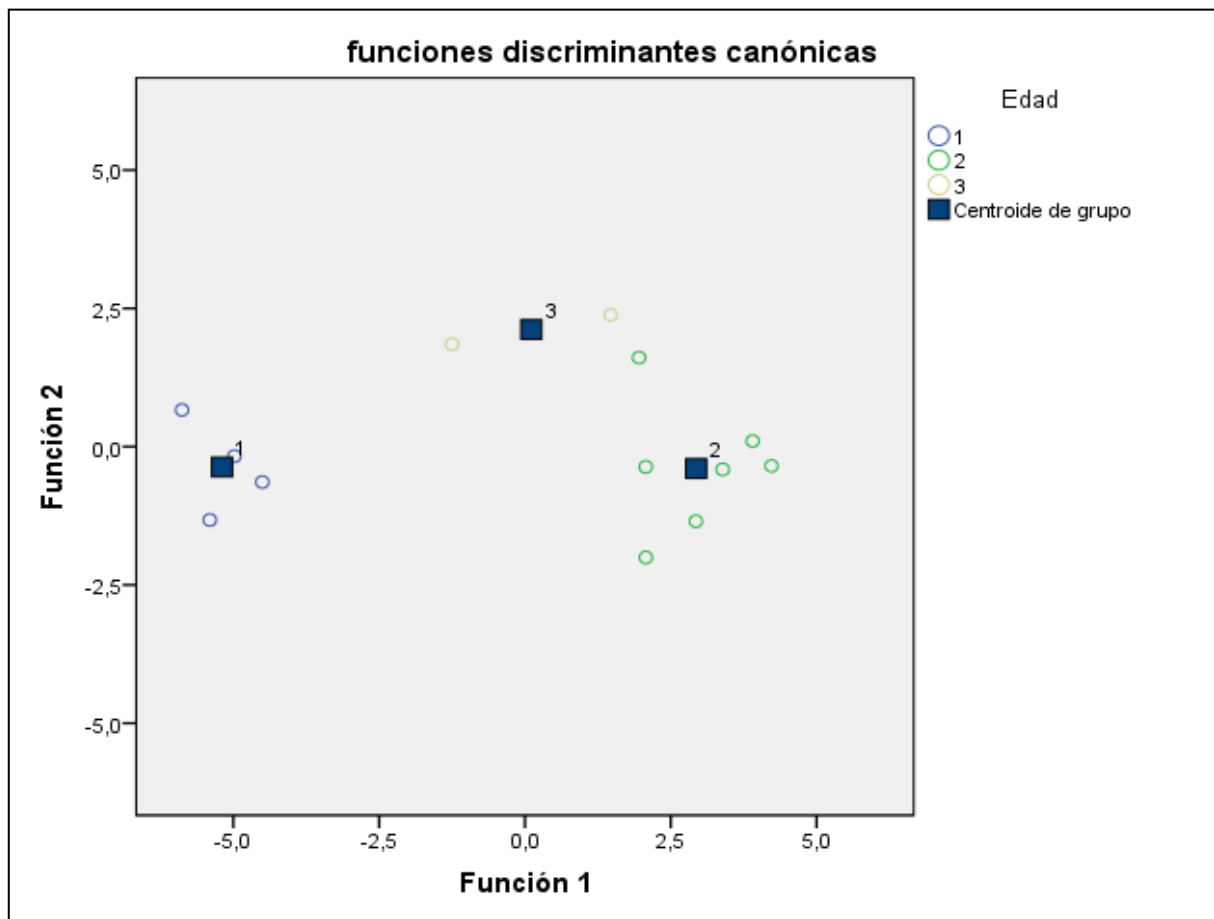


Gráfico 1. Gráfico cartesiano por funciones discriminantes canónicas. 1=Infantiles, 2=Juveniles, 3=Adultos

Esta función ha permitido clasificar correctamente en el rango de edad a 12 de los 13



parietales estudiados (Tab. 5)

		Edad	Grupo de pertenencia pronosticado			Total
			1	2	3	
Recuento		1	4	0	0	4
		2	0	6	1	7
		3	0	0	2	2
		1	100	0	0	100
		2	0	85,7	14,3	100
		3	0	0	100	100
Original	%					

**Tabla 6. Adscripción de los parietales a rangos los rangos de edad propuestos mediante la función discriminante.**

Tras el estudio general del conjunto de puntos, se estudiaron de manera descriptiva los puntos atendiendo a su categoría.

En cuanto a los puntos inicio, observamos que únicamente se encuentran en el tercio inferior del parietal como se observa en la siguiente tabla (Tab. 6) desglosada de la Tabla 1.

Rango de Edad	Infantil	Juvenil	Adulto	Infantil	Juvenil	Adulto	Infantil	Juvenil	Adulto
Cuadrante	Superior Anterior			Superior Medio			Superior Posterior		
fr (inicio)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cuadrante	Medio Anterior			Medio Medio			Medio Posterior		
fr (inicio)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cuadrante	Inferior Anterior			Inferior Medio			Inferior Posterior		
fr (inicio)	0,026	0,022	0,012	0,01	0,017	0,006	0,015	0,017	0,012

**Tabla 7. Frecuencias de puntos diagnóstico "inicio".**

El siguiente punto estudiado es la relación entre terminaciones y divergencias (Tab. 7). En este caso únicamente se han tenido en cuenta las terminaciones y las divergencias por cuadrante para obtener las frecuencias. Con este estudio se observa la diferencia entre tomar las frecuencias absolutas del total de puntos diagnóstico del parietal y de cada cuadrante con

el fin de averiguar la predominancia de cada una de las dos categorías estudiadas en cada cuadrante.

Rango de Edad	Infantil	Juvenil	Adulto	Infantil	Juvenil	Adulto	Infantil	Juvenil	Adulto
Cuadrante	Superior Anterior			Superior Medio			Superior Posterior		
fr (divergencias)	0,25	0,373	0,4	0,5	0,39	0,333	0,286	0,472	0,333
fr (final)	0,75	0,627	0,6	0,5	0,61	0,667	0,714	0,528	0,667
Cuadrante	Medio Anterior			Medio Medio			Medio Posterior		
fr (divergencias)	0,543	0,6	0,611	0,625	0,611	0,667	0,632	0,442	0,333
fr (final)	0,457	0,4	0,389	0,375	0,389	0,333	0,368	0,558	0,667
Cuadrante	Inferior Anterior			Inferior Medio			Inferior Posterior		
fr (divergencias)	0,727	0,731	0,625	0,667	0,636	0,75	0,636	0,667	0,8
fr (final)	0,273	0,269	0,375	0,333	0,364	0,25	0,364	0,333	0,2

**Tabla 7. Tabla 8. Frecuencias de puntos diagnóstico "final" y "divergencia" relacionados entre sí por cuadrantes.**

Mediante esta tabla es sencillo entender en qué cuadrantes existe un mayor número de terminaciones o en cuál predominan las divergencias. Aquellos en los que la proporción de puntos diagnóstico "final" es mayor corresponden con los cuadrantes del tercio superior. El resto de cuadrantes presentan una proporción de "divergencias" superior.

Por último, se estudiaron las regiones donde se ubicaban las estructuras anastomóticas, volviendo a tomar las frecuencias con respecto al total de puntos tomados sobre el parietal (Tab. 8). A pesar de no encontrarse referenciada en la bibliografía este tipo de estructuras, se incluyó también este estudio puesto que en la toma de datos fueron observadas en numerosas ocasiones y presentando estructuras similares entre ellas.

No se ha existido tomado ninguna referencia a formaciones anastomóticas en individuos infantiles. En los juveniles se localizan en el cuadrante superior-medio, medio-medio y medio superior mayoritariamente, mientras que en los adultos la mayor concentración de anastomosis se encuentra en los cuadrantes superior-medio y medio-medio. En ningún caso se han encontrado estas estructuras en el cuadrante inferior-anterior.

Rango de Edad	Infantil	Juvenil	Adulto	Infantil	Juvenil	Adulto	Infantil	Juvenil	Adulto
Cuadrante	Superior Anterior			Superior Medio			Superior Posterior		
fr (anastomosis)	0	0,034	0,012	0	0,056	0,086	0	0,027	0,018
Cuadrante	Medio Anterior			Medio Medio			Medio Posterior		
fr (anastomosis)	0	0,034	0,055	0	0,051	0,098	0	0,015	0,018
Cuadrante	Inferior Anterior			Inferior Medio			Inferior Posterior		
fr (anastomosis)	0	0	0	0	0,012	0,018	0	0,007	0,012

**Tabla 8. Frecuencias de puntos diagnóstico "anastomosis".**

## DISCUSIÓN

Antes de comenzar con la interpretación de los resultados es necesario comentar que el número de individuos tratados ha sido bajo con respecto a lo que un análisis estadístico requiere, puesto que las necesidades de preservación del parietal que este estudio necesita es muy elevada. Esta preservación es, aún si cabe, peor en los individuos subadultos, como puede comprobarse con la no inclusión de ningún parietal perinatal. El nivel de preservación requerido hace que incluso una colección de más de 1000 individuos como la empleada no aporte un número suficiente de parietales que puedan ser estudiados mediante la metodología desarrollada. Al mismo tiempo que se asumen las limitaciones numéricas del estudio, es necesario informar que la necesidad de emplear una colección con un elevado grado de preservación es prioritaria.

Como se expuso en el apartado introductorio, el estudio de la AMM, tanto *in vivo* como las improntas que pueden estudiarse *post mortem*, requieren de un conocimiento más profundo y de base que ayude a comprender las cuestiones que han ido surgiendo al respecto. De hecho, se necesitan estudios conjuntos de angiología y osteología que ayuden a comprender la biología de la arteria meníngea media y que expliquen cómo se forman estas improntas. El estudio conjunto de ambas disciplinas ayudará a arrojar luz sobre este tema tan interesante como desconocido.

### Diferentes patrones con respecto a la edad

Con el análisis de los resultados se ha comprobado la hipótesis previa. Existe una diferenciación entre los patrones de distribución de la impronta de la arteria meníngea media

entre los diferentes rangos de edad estudiados, es decir, existe una ontogenia de la impronta. Esta tiene lugar en los segmentos medios superior y medio y en el segmento inferior anterior, que abarca, aproximadamente, el discurrir de la impronta correspondiente a la rama media. Quizá este proyecto podría ser un pie para comenzar a estudiar la ontogenia de la rama media, ya que parece que abarca una mayor región del endocráneo al alcanzar la edad adulta.

También se ha comprobado que, con un 92,3% de fiabilidad, se puede determinar el rango de edad a partir de la impronta de la AMM. No obstante, la ecuación resultante debe ser tomada con cautela ya que el número de individuos estudiados para diseñarla es muy bajo.

En lo referente a la metodología, las aplicaciones del SIG son amplias y parten de una base matemática sólida y sencilla, es por eso que fue el sistema empleado para este estudio. No obstante, han existido dificultades que no han podido ser solventadas y que necesitarían un mayor desarrollo para conseguir ser más completos. Una mejoría del sistema de medición para disminuir el error llevaría a una precisión mayor de 1 milímetro y, aumentando la complejidad del estudio, se podrían determinar las posiciones de los puntos diagnóstico en el eje Z.

### **Localización y análisis de los puntos diagnóstico**

Otro de los objetivos del trabajo era describir en la medida de lo posible, y mediante la metodología diseñada, las características de la AMM. Para este fin se estudiaron los puntos categorizándolos en cuatro tipos y analizándolos por separado.

En cuanto a los puntos inicio, todos se han localizado en el tercio inferior como ya describió Le Double (1903). A diferencia de los trabajos publicados por Giuffrida-Ruggieri (1913) y Adachi (1925), no se ha profundizado qué rama de la AMM surgía en cada punto "inicio", ya que para ello es necesario contar con el origen en el parietal y así saber cómo surge la divergencia principal. Para futuros estudios sobre el tema, se debería considerar imprescindible analizar el parietal en conjunto con el temporal. Por motivos de estado de preservación de la colección, profundizar en este tema ha sido imposible.

El estudio de los puntos diagnóstico de divergencia y de final mediante la frecuencia relativa de cada categoría, dio como resultado que cada región del parietal se comporta de

manera diferente en este aspecto. Atendiendo de nuevo a las descripciones de Le Double (1903), la AMM discurre hacia las suturas sagital y lambdática, de modo que las regiones donde más frecuencia de finales se debe encontrar es en aquellos que abarcan estas dos suturas, es decir, los 3 cuadrantes superiores y los posteriores. Así se observó al encontrarse una frecuencia mayor de finales en estos 5 cuadrantes que en los 4 restantes. No sólo fue así, sino que además se comprobó que en estos cuadrantes la frecuencia de puntos diagnóstico finales es mayor que la de divergencias. Este enfoque aportado en el artículo podría tener una aplicación en la antropología forense o la arqueoantropología ya que si se profundiza en sus características a partir de la AMM, podría capacitar para identificar un fragmento de parietal de manera inequívoca a partir de la proporción entre divergencias y finales. Para ello, sería necesario determinar de manera estadística cómo se distribuyen estos puntos y ampliarlo con otras mediciones complementarias como, por ejemplo, la anchura del hueso o la curvatura a en cada nivel del parietal.

Por último se estudiaron las anastomosis presentes en la impronta de la AMM. A pesar de que en la bibliografía no aparecen citas sobre anastomosis entre las ramas de la AMM, en el estudio se comprobó la existencia de trazos de la impronta con una distribución anastomótica. Ciertamente, esta observación no puede estar totalmente corroborada hasta que no se defina *in vivo* la presencia de dichas estructuras vasculares. De cualquier manera, las anastomosis permiten profundizar en la determinación de la ontogenia a través de la AMM, ya que únicamente han sido descritas en individuos juveniles y adultos.

Además de por las características propuestas y descritas en este estudio, la impronta de la AMM se define por otra serie de particularidades que podrían ser objeto de estudio en futuros proyectos. Ante la imposibilidad de abarcarlas por la disponibilidad de tiempo y por el estado de preservación de la colección, no han sido estudiadas de manera que, desde un marco estadístico, se hayan obtenido resultados. Estas serían, por ejemplo, la profundidad y anchura del trazo de la impronta, las áreas de irrigación de cada una de las ramas de la AMM propuestas por Giuffrida-Ruggieri (1913) o la aplicación de estos mismos estudios en el resto de huesos craneales donde se presenta impronta de la AMM, especialmente el temporal.

De manera inequívoca, el avance en los conocimientos sobre la AMM y su impronta ampliarían las preguntas que el investigador se haría al respecto, y desarrollando sistemas metodológicos que no supongan una gran complejidad técnica, como la propuesta y

desarrollada en este estudio, se simplificarían los requerimientos para ello. De cualquier manera, el estudio de la AMM y su impronta es un tema insuficientemente abarcado, aunque en los últimos años, como se expuso en el apartado "*Estudios recientes sobre la arteria meníngea media y su impronta*", se ha retomado su estudio con el fin de poder determinar rasgos de la filogenia humana. Observando estos trabajos es cuando más importante, si cabe, se hace conocer y comprender la anatomía y vascularización del cráneo, de las meninges y del cerebro para construir un conocimiento de base sólido que ayuden a desarrollar un camino científico al investigador.

## CONCLUSIONES

La principal conclusión, ya comentada, es el conocimiento insuficiente tanto sobre la arteria meníngea media como de su impronta, así como que la metodología empleada en estudios precedentes es compleja y/o costosa, lo cual limita los estudios que ayuden a profundizar en la materia.

Tratando las conclusiones obtenidas en el estudio:

- Se ha comprobado que existe una diferencia ontogénica en la impronta de la arteria meníngea media.
- Se propone una metodología de estudio basada en la trilateración para el estudio de los puntos del cráneo, extrapolable y comparable entre diferentes parietales.
- Se ha desarrollado un sistema matemático que permite adscribir una distribución de frecuencias relativas de orígenes, divergencias y terminaciones de las ramas de la impronta de arteria meníngea media a un rango de edad preestablecido.
- Se han descrito estructuras anastomóticas en juveniles y adultos, asociadas a los tercios medio y superior en el plano transversal y en los tercios medio y anterior en el plano coronal del parietal humano.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, agradecer al director del trabajo, Manuel Domínguez Rodrigo por ofrecerme la realización de este estudio confiando en mi y transmitiéndome ya en la primera reunión ilusión por este tema. A Armando González Martín, como co-director del proyecto y guía en el Laboratorio de Poblaciones del Pasado. Del mismo modo a Oscar Cambra-Moo, que junto con Armando fueron de gran ayuda en el desarrollo de la metodología del estudio.

A mi familia, cuyo apoyo, en todos los sentidos, nunca me ha faltado y en muchos momentos he necesitado.

A mis compañeros de máster y del Laboratorio de Poblaciones del Pasado, sin los que no podría haber conseguido trabajar a gusto.

A mis amigos de toda la vida, porque se han preocupado por mi trabajo a pesar de que no entendiesen mucho de lo que les hablaba, pero el interés demuestra la amistad.



## Anexo 1

ID	Rango de Edad	Categoría Ubelaker
134,00	Adulto	
271,00	Infantil	3
304,00	Juvenil	18*
316,00	Juvenil	20*
327,00	Juvenil	19*
529,00	Adulto	
662,00	Infantil	3
825,00	Infantil	8
945,00	Infantil	.*
947,00	Juvenil	12
1043,00	Juvenil	15*
1049,00	Juvenil	20*

Anexo 1. Rangos de edad y categoría Ubelaker de los individuos empleados en el estudio (González, comunicación personal)

\*El individuo 945,00 no preservaba elementos que permitieran determinar la edad por esta metodología. Empleando otra metodología se le asignó una edad entre 5-9 años

\* A los individuos juveniles de entre 15 y 20 años se les asignó una edad más concreta a partir de la interpolación del tercer molar (A. González, 1999)

## Anexo 2

ID. CRÁNEO	RANGO EDAD
LATERALIDAD	PRESERVACIÓN

Diagrama de la arteria meníngea media. El diagrama muestra una línea irregular que representa la arteria. En el extremo superior izquierdo está etiquetado como 'Br.'. En el extremo superior derecho está etiquetado como 'λ'. En el extremo inferior derecho está etiquetado como 'As.'.

Anexo 2a. Modelo de ficha de dibujo de la arteria meníngea media.

Punto	Dist. Bregma	Dist. Lambda	Dist. Asterion	Anotaciones

Anexo 2b. Modelo de ficha de toma de datos empleada en el estudio. En las anotaciones se incluían datos que fueran reseñables en el estudio como pudieran ser las anastomosis.

## BIBLIOGRAFÍA

**Adachi, B.** 1925. *Das Arteriensystem der Japaner, Tomo 1.* Verl. der Keiserlich-Japanischen. Universität zu Tokyo.

**Bruner E. et al.** 2005. *Fractal dimension of the middle meningeal vessels: variation and evolution in Homo erectus, Neanderthals, and modern humans.* European Journal of Morphology; 42(4/5): 217 – 224

**Bruner E., Sherkat S.** 2008. *The middle meningeal artery: from clinics to fossils.* Childs Nerv Syst. 24:1289–1298

**Bruner E. et al** 2011. *The Evolution of the Meningeal Vascular System in the Human Genus: From Brain Shape to Thermoregulation.* American Journal Of Human Biology; 23:35–43

**Falk, D.** 1990. *Brain evolution in Homo: The radiator theory.* Behavioral and Brain Sciences, 13, pp 333-344.

**Frick, H., Leonhardt, H., Stark, D.** 1981. *Manual de Anatomía Humana.* Ediciones Omega, S.A.

**Giuffrida-Ruggieri, V.** 1913. *Über die Endocranischen Furchen der Arteria Meningea Media beim Menschen.* Zeitschr. f. Morph. u. Anthropol. 15:401-413

**González A.** 1999. *Infancia y adolescencia en la Murcia musulmana. Estudio de restos óseos.* Madrid. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología. Unidad de Antropología.

**Gray, H.** 1918. *Anatomy of the Human Body.* Philadelphia. Lea & Febiger.

**Le Double, F.** 1903. *Traité des variations des os du crâne de l'homme.* París. Vigot.

**Netter, F. H.** 2010. *Atlas of Human Anatomy.* Saunders.

**Smith M., Goodchild M., Longley P.** 2006. *Geospatial Analysis. A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools*. The Winchelsea Press.